

# 试论尾矿库安全监测的现状与前景

李青石<sup>1</sup>, 李庶林<sup>1</sup>, 陈际经<sup>2</sup>

(1. 厦门大学建筑与土木工程学院, 福建 厦门 361005; 2. 湖南柿竹园有色金属有限责任公司, 湖南 郴州 423037)

**摘要:**尾矿库作为矿山生产的重要元素,同时也是矿山的重大危险源和环境污染源。近年来,国内外尾矿库安全事故频频发生,且呈现不断上升的趋势,不但使企业经济蒙受损失,更对人民的生命财产安全与和谐的生态环境造成严重的危害。尾矿库的安全问题已经成为岩土工程防灾减灾的重要研究课题。本文论述了尾矿库的安全现状及其危害性,列举了国内外重大尾矿库溃坝灾害的案例并对典型案例发生的原因进行了简要分析,说明了国内目前采用的几种尾矿库安全监测方法的原理、成效及其局限性,指出了实时全天候监测技术的必要性、特点以及所要面临的技术理论问题。

**关键词:**尾矿库;安全监测;微震技术

文章编号:1003-8035(2011)01-0099-08

中图分类号:TD926.4

文献标识码:A

## 0 前言

尾矿库是指筑坝拦截谷口或围地构成的,用以堆存金属或非金属矿山进行矿石选别后排出尾矿或其他工业废渣的场所<sup>[1]</sup>。尾矿库是维持矿山的正常生产的重要组成部分,同时,它也是金属、非金属矿山的重大危险源和环境污染源。尾矿坝一旦垮塌,不仅使国家受到经济损失,更危及作业人员和下游地区居民的生命财产安全,并且尾矿库中的有害化学物质将污染周围地下水和江河流域,造成严重的环境破坏。

我国尾矿库数量多、规模小,且大都采用稳定性差的上游式筑坝,库址的选取难以避开居民区,尾矿库总体技术力量薄弱,安全性得不到保障,尾矿库灾害已经对国家经济和人民的生命财产造成严重危害。因此,运用科学的方法加强尾矿库安全管理、防范尾矿库事故、保障尾矿库安全运营,对于土木工程防灾减灾具有十分重要的意义。

## 1 典型尾矿库灾害案例分析

### 1.1 国内外典型尾矿库溃坝灾害

国内外时常报导尾矿坝的安全事故,但是事故的数量和人员、财产、环境的损害情况实际上大大超过了被公开报导的,仅从 2001 年起,我国的尾矿库事故已发生 40 多起,其中,重特重大事故 8 起,造成严重的生命财产损失,对生态环境造成恶劣的污染。以下列出了国内外的一些尾矿坝事故及其造成危害的情况(表 1、表 2)。

### 1.2 典型尾矿库溃坝灾害案例分析

#### 1.2.1 山西襄汾县塔山尾矿库

2008 年 9 月 8 日,山西襄汾县塔山矿区新塔矿业公司违规运营,在已经闭库的尾矿库上违章加筑尾砂坝并排放尾矿,并且尾矿堆积坝坡度过大。在生产缺水的情况下,矿主竟在尾砂子坝上铺设塑料布挡水,致使库区内积水相当严重。在较高水头下,尾砂一直被浸泡并处于饱水状态,坝体产生局部渗透破坏并引发整体滑动。最危险的是,人群聚集的办公楼和农贸市场就修建在紧邻该尾矿坝下游 50 多米处。由于当日正值发放工资和百姓赶集,该区域内聚集了较多民众,最终酿成特别重大的溃坝事故,共造成 277 人遇难,4 人失踪,33 人受伤,直接经济损失近 1 亿元。

**事故原因分析:**

(1)企业严重违法,在已闭库的旧尾矿库上继续堆存尾矿,既没有按规范设计排洪系统和尾砂堆坝工艺,也没有懂技术的、负责任的尾矿库管理人员<sup>[9]</sup>;

(2)2007 年 2 月底至 3 月初,包括库区在内的五台山地区连降两场大雪,库区周边积雪达 0.5 m 以上。雪后气温较高,冰雪融化速度快,融水沿尾矿库表面向深部渗透,尾矿库坝体的强度和稳定性降低。

(3)设计时没有考虑到溃坝的可能性,在尾矿坝正下方近距离修建了办公楼及大型公共场所,以致灾害来临时防不胜防,造成大量人员伤亡。

收稿日期:2010-12-22;修订日期:2011-02-11

作者简介:李青石(1987—),男,福建省福州市人,主要从事土木工程防灾减灾方面研究。

E-mail:1qsszjldsf@126.com

1.2.2 柿竹园野鸡尾尾矿库垮坝事故

1985 年 8 月 24 日至 25 日,由于受第 10 号台风等因素的影响,柿竹园矿区所在的郴县境内普降当地有记载资料以来最大的一场暴雨。据当地水文观察站提供的资料 8 月 24 日 9 时至 25 日 22 时的 37 个小时内,降雨达 364mm,超过 7、8、9 三个月的正常降雨量 289mm,而该库所在的东波矿区是暴雨的中心地带,仅 8 月 25 日,东波矿区连降四个多小时特大暴雨,降雨量达到 429.8mm/日,其中零点至 2 点 50 分,降雨量为 211mm(小时降雨量为 75.6mm)是该地区

历年每小时最大降雨量的 1.19 倍。

8 月 25 日凌晨 3 点 40 分左右,野鸡尾尾矿库上游强大的洪水、泥石流席卷着泥沙、石块、树木、杂草,越过坝尾截洪沟,在几分钟的时间内就将该库坝体冲跨。此次洪水和垮坝事故导致矿区死亡 46 人,冲毁淹没房屋、生产生活设备、设施(道路、桥梁、电线等)。矿区直接经济损失 639.2 万元,是该矿历年来最严重的灾害性事故,给人们留下了深刻记忆和惨痛的教训。

表 1 国内典型尾矿库溃坝事故<sup>[2-6]</sup>

Table 1 Typical accidents of dam break in tailing pond in China<sup>[2-6]</sup>

时间	灾害地点	造成危害情况
1962 年 9 月 26 日	云南省锡业公司火谷都尾矿库	死亡 171 人,伤 92 人,直接经济损失 2000 多万元
1985 年 8 月 24 日	湖南郴州柿竹园多金属矿尾矿库	死亡 46 人,直接经济损失 639.2 万元
1986 年 4 月 30 日	安徽省黄山铁矿尾矿库	死亡 19 人,伤 95 人
1993 年 5 月	江西省赣南某钨矿尾矿坝	下游地区的多数民房被冲毁,百亩良田被淹没
1994 年 7 月 12 日	湖北省新冶铜矿尾矿库	死亡 26 人,失踪 2 人
2000 年 10 月 8 日	广西省南丹县鸿图锡矿尾矿库	死亡约 29 人,直接经济损失 340 万元
2001 年 7 月 10 日	云南省武定德昌钛矿尾矿库	7 人死亡
2005 年 11 月 8 日	山西省临汾峰光、城南合用尾矿库	9 人死亡
2006 年 4 月 23 日	河北省迁安庙岭沟尾矿库	6 人死亡
2006 年 4 月 30 日	陕西省商洛市镇安县黄金尾矿库	冲毁房屋 76 间,22 人被淹埋,17 人失踪,流失尾矿约 20 万 m <sup>3</sup>
2006 年 8 月 15 日	山西省娄烦新阳光、银岩尾矿库	7 人死亡
2007 年 5 月 8 日	山西省忻州市繁峙县宝山尾矿库	直接经济损失约 4500 万元
2007 年 11 月 25 日	辽宁海城鼎洋矿业 5 号尾矿库	15 人死亡,2 人失踪,38 人受伤
2008 年 9 月 8 日	山西襄汾新塔矿业公司尾矿库	276 人死亡

表 2 国外典型尾矿库溃坝事故<sup>[7-8]</sup>

Table 2 Typical accidents of dam break in tailing pond abroad<sup>[7-8]</sup>

时间	灾害地点	造成危害情况
1928 年	智利 Barahana 尾矿库	死亡 54 人,流失尾矿 400 多万 t
1933 年	东德别尔鲍威尔苏打厂尾矿库	流失尾矿几亿 m <sup>3</sup> ,造成严重污染
1961 年	比利时 Jupille 尾矿库	死亡 11 人,流失尾矿 30 万 t
1965 年	智利 Old El cobre 尾矿库	死亡 210 人,流失尾矿 200 多万 t
1965 年	智利 New El cobre 尾矿库	流失尾矿 50 万 t,造成污染
1966 年	威尔士 Aberfan 尾矿库	死亡 144 人,流失尾砂 20 万 t
1966 年	得克萨斯石膏矿尾矿库	流失尾矿 20 万 t,造成严重污染
1971 年	佛罗里达磷矿尾矿库	流失尾矿 80 万 t,造成污染
1972 年	佛吉尼亚 Buffalo Creek 尾矿库	死亡 118 人,流失尾砂 55 万 t
1974 年	南非 Bafokeng 尾矿库	死亡 12 人,流失尾矿 520 万 t
1976 年	南斯拉游 Zletovo 矿尾矿库 4 号坝	流失尾矿 30 万 m <sup>3</sup> ,造成严重污染
1978 年	日本 Mochikoshi 尾矿库	流失尾矿 14 万 t,造成污染
1985 年	意大利 Stave 尾矿库	死亡 250 人,流失尾矿 150 万 m <sup>3</sup>
1994 年	南非 Harmony 尾矿库	死亡 17 人
1995 年	圭亚那 Omai 金矿尾矿库	900 人因饮用含有氰化物的污染水而死亡
1998 年	西班牙 Aznolcollcer 矿尾矿库	溃坝冲毁下游 4600 万 m <sup>2</sup> 的农田,经济损失高达 34 亿欧元
2000 年	罗马尼亚西北部 BaiaMara 选矿厂尾矿库	10 万 m <sup>3</sup> 含氰化物的尾矿流入多瑙河
2003 年	智利 CerroNegro 铜矿尾矿库	流失尾矿 5 万 t,下泄 20km

### 事故原因分析:

(1)百年不遇的特大暴雨引起山洪爆发和泥石流;

(2)尾矿库设防能力过低,原尾矿库是1967年由湖南有色金属工业管理局设计室完成施工图设计,1971年建成。当时正值“文革期间”,设计管理混乱,加之,国家尚未出台有关选矿厂尾矿设施设计标准或规范,使设计存在一定的缺陷;

(3)在尾矿库施工及管理中缺乏能正确识别存在的问题的技术人员及手段,因此,尾矿库坝的安全监控无法实施到位,长期累积的安全隐患得不到妥善处理,从而导致事故的发生。

从以上案例中可以看出,我国的尾矿库安全事故频发的原因不仅只是自然因素或是个别企业重利益、轻安全所造成的,设计不正规、管理不规范也是我国中小型尾矿库普遍存在的问题。如何运用科学的手段有效地管理尾矿库,提升其安全度,关键在于必须对尾矿库实施安全监控,及时准确地分析尾矿库的安全状况。因此,在国家对于尾矿库安全管理工作加大力度的同时,提高尾矿库的科研水平,特别是对尾矿库安全监控技术手段的研究和完善显得尤为重要。

## 2 尾矿坝安全监控

### 2.1 尾矿坝安全监测常规方法

#### 2.1.1 坝体位移监测

位移和变形是尾矿库发生溃坝的直观表现。及时发现尾矿坝外坡破坏变形范围和发展速度,有利于迅速做出的应急反映,减少灾害损失。

坝体位移监测主要包括坝体表面位移监测和内部位移监测,其监测方法和仪器设备种类很多。坝体表面变形监测可以使用高精度智能全站仪和GPS监测技术等,坝体内部位移监测主要使用倾斜仪和沉降仪<sup>[2]</sup>。

(1)智能全站仪,即测量机器人技术,可以自动搜索、跟踪、辨识和精确找准目标并测量角度、距离、三维坐标以及影像等信息。智能全站仪与监测点目标(照准棱镜)及计算机形成变形监测系统,可实现全天候监测,并自动数据采集、传输与处理变形点的三维数据。这种方法成本低,管理维护便捷,监测精度高。缺点是系统受地形、气候条件的影响,不能完全实现通视测量。

#### (2)GPS变形监测技术

GPS变形监测系统是基于全球卫星定位系统来进行坝体变形监测,它具有全天候监测、抗干扰强、精度高等特点。但是其可靠性较差,系统维护量大,费用也较大。

#### (3)固定测斜仪

固定测斜仪适用于坝体变形的长期监测,基本原理是使用测斜仪准确测量坝体的钻孔内局部的倾斜度。仪器安装于带标准导槽的测斜管中,通过测量滑轮的倾斜长度和角度从而计算出横向和纵向水平位移。

#### (4)土体沉降仪

土体沉降仪(位移计)是通过将整套仪器安装在钻孔中监测灌浆锚头和沉降板之间的土体压缩沉降变形量。

### 2.1.2 浸润线监测

浸润线的高度直接关系到坝体稳定及其安全性。因此,对于浸润线位置的监测,成为尾矿库安全监测的重要内容。尾矿坝浸润线监测通常有两种方法。一种是埋设适当数量的测压管,通过人工现场测量测压管中水位得到浸润线的高度;另一种是埋设特制传感器,通过在坝体内钻凿钻孔,把带有压力传感器的渗压计放置在钻孔里,通过渗压计测量的压力,再转换为水头高度,结合安装深度以及孔口高度即可得到坝体或绕坝的浸润线高度。

#### 2.1.3 库水位监测

尾矿库内存有大量的尾矿浆沉淀水,水位的高低对应着水量的多少,关系到防洪能力是否满足安全要求。目前主要采用超声波液位计,在溢流井上安装超声波液位计,通过测量超声波液位计距离库水面的高度来计算库水位高程,也可另外设置标杆或基准塔,观察标尺刻度,直观、及时了解库水位。

#### 2.1.4 干滩长度和标高监测

在定量评价尾矿库的防洪能力时,常需要考证干滩长度和安全超高<sup>[16]</sup>。通常采用的方法是选择监测断面,建立平面直角坐标系,使用移动GPS或超声波液位计等仪器测量监测断面干滩上若干点的高程,结合各测点间的距离计算出干滩坡度,或拟合出干滩曲线方程,再利用库水位,坝顶标高分别得出干滩与库水面和尾矿坝外坡面的交点,从而求出干滩长度或安全超高。虽然测量干滩高程的仪器设备灵活简便、能适应不同位置变化的需要,但是由于水边线的界线不明显,且该处是测量人员无法进入的,所以这种测量

方法无法从本质上实现精确、快速地测定这两项指标。

### 2.1.5 渗流量监测

尾矿坝排出的水流通过一个三角形或矩形槽口的堰板,堰口流出的水量与量水堰的水头高度具有一定的函数关系,先用试验方法确定堰上水头高度与流量之间的转换关系,然后用超声波液位计监测量堰的水头高度进而得出渗流量。

### 2.1.6 尾矿库数字化在线监测系统

由于先进的信号传输、传感器、网络和软件技术的不断发展,使得尾矿库数字化在线监测技术近年来在我国得到长足的进步和极大的发展空间。这种监测系统结合了对于以上尾矿库各项安全指标的监测方法,利用遍布尾矿库各监测点的传感器获取尾矿库的各项运行数据,再采用多信息融合技术将数据进行整合重组,送入计算机分析模块进行计算,从而在线监控尾矿库的运行状态。当尾矿库出现安全隐患时,系统能及时判断并发出预警信号,提示有关部门进行处理,从而避免尾矿库安全事故的发生。由于尾矿库在线监测系统目前仍处于试运行阶段,其结构和功能都在不断地被更新和开发,因此以下仅表示尾矿库在线监测系统的主要结构(图1)<sup>[10~17]</sup>。

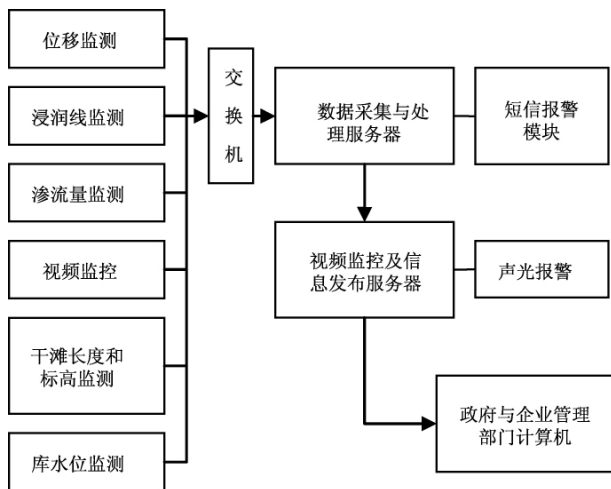


图1 尾矿库数字化在线监测系统示意图

Fig.1 Diagrammatic sketch of online monitoring system of Tailing pond digitalization

这种监测方法用全自动数字化技术代替了常规的人工监测方法,大大降低了劳动强度,避免了人为监测的误差,并且在恶劣气候下仍然可以运行。系统运用先进的高科技手段,监测尾矿库各项主要安全指

标,显示各项监测数据的变化情况,同时通过配套软件来分析坝体形变断面、坝体形变等值线、各种参数过程线等,提高了数据采集的全面性和准确性,使尾矿库的监测管理实现了信息化。

### 2.2 常规监测方法案例

尖山铁矿是国家大型黑色冶金矿山企业,是太钢集团重要的铁精粉原料生产基地,其城东沟尾矿库采用上游式筑坝。初期坝设在沟口,坝底标高为1276m,坝顶标高1305m,坝高29m。尾矿库设计为年处理原矿 $400 \times 10^4 \text{ t}$ ,尾矿产率60%,尾矿最终堆积标高1400m,最大坝高124m,总库容 $9427 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。目前尾矿堆积标高为1354m,尾矿坝坝高78m。

尖山铁矿城东沟尾矿库过去采用人工定期测量、统计上报的安全监测方法,但这种方法只能测量尾矿坝的外观变化情况,无法对坝体内部关键部位进行持续有效的监测,而且人工监测方法受天气、技术经验等因素的影响,数据采集准确性较差。因此,尖山铁矿在2009年8月份将“尾矿库数字化在线监测系统”正式投入运行,到目前为止该系统运行稳定,效果明显。

主要监测内容及布置如下<sup>[18]</sup>:

#### (1) 坝体位移监测

沿坝体垂直方向向库内(水面方向)设置5个位移监测剖面,共12个位移监测点。位移监测采用GPS技术进行全天候的三维变形监测。数据采集频率每秒1次,每隔12h或24h进行解算。

#### (2) 浸润线监测

沿坝体垂直方向向库内(水面方向)设置7个浸润线监测剖面,共15个浸润线监测点。采用振弦式渗压计为主要测量设备。数据采集频率为每4h1次,每隔24h进行解算。

#### (3) 库水位监测

在溢洪塔处设置水位计和雨量计进行库水位和降雨量的实时监测。水位计和雨量计采用新一代的远程终端测控设备(RTU),可以在恶劣的温度与湿度条件下进行实时监测。库水位数据采集每小时1次,降雨量数据采集为实时数据。

#### (4) 干滩监测

沿坝体垂直方向向库内(水面方向)设置7个干滩高程监测剖面,共14个干滩监测点。采用干滩高程监测仪为设备进行实时监测。每天上午8点和晚上8点各采集数据1次,以12h为周期进行解算。

### (5) 视频监控

在 1356 m 处子坝南、北各设置一台摄像机,同时在溢洪塔周边山体设置一台摄像机。视频信号接入尖山铁矿视频监控专网进行监控。

经过一年多的测试,该系统的运行效果良好,实现了监测自动化,达到了常规人工方法所不能及的测量精度和效率,大大降低了监测人员的劳动强度,并且它能及时有效地提供尾矿库的各项数据,便于工作人员随时查看、分析,在尖山尾矿库的安全治理中起到了关键的指导作用。但是,尾矿库在线监测系统的发展和推广也面临着许多问题。目前该系统仍处于试运行阶段,它的耐用性暂时得不到验证,也没有一个规范标准来评价它的适用性和可靠性。从经济的角度上看,由于我国的尾矿库 90% 以上为中小型尾矿库,多数尾矿库无法承受这样高额的运行费用;从技术的角度看,尾矿库在线监测系统的监测方法是在借鉴土石坝监测规范的基础上开发的,而我国尾矿库多采用上游式筑坝方式,无论在结构特点还是材料性质上都与土石坝有明显差别。另外,该系统的运行效果虽然已经大大超越了人工测量,但国产设备的精度和稳定性还有待于进一步提高。更重要的是,从以上监测内容中不难看出,该系统虽然监测了比较全面的尾矿库数据,但无法完全实现对尾矿库重要参数的实时全天候监测,尾矿库安全管理的漏洞依然存在。

## 3 实时全天候监测技术

### 3.1 实时全天候监测的必要性

虽然我国尾矿库日常管理正在逐步走向规范化,但是尚未推广实现安全生产管理的信息化和自动实时监测,多数尾矿库仍然采用常规的人工观测,其精度完全由观测人员的经验决定,数据采集受气候的影响较大,难以做到实时、准确。同时,资料数据的整理分析滞后于生产运行,隐患和问题难以及时发现,容易引发事故。而使用实时全天候监测系统后,可以实现尾矿库管理的信息化、实时化、网络化,使得尾矿库生产、安全管理人员,可以及时直观的掌握坝体的实际动态,进行安全评价、预警预报,并指导生产,为加固工程设计、管理及消除隐患提供依据,为尾矿坝的安全监测与管理决策提供有力支持,可以充分发挥工程效益,实现安全生产。

### 3.2 实时全天候监测方法

#### 3.2.1 可视化视频监控

将视频监控摄像头设置在尾矿库溢水塔、滩顶放矿处、坝体下游坡等重要部位,这些部位的情况通过实时拍摄的视频图像快速传输至控制室的显示屏上,并通过网络及时上传有关视频图像,由主管部门审定。这种监测方法能直观地反映尾矿库的运行状态,但是尾矿库安全事故的发生过程总是由内到外、由小到大。视频监控无法及时探知尾矿库内部的变化,也就无法从本质上遏制安全事故的发生。

#### 3.2.2 多通道微震监测系统

多通道微震监测系统,是以阵列的形式把传感器布置在监测区域内,采集尾矿或坝体因受外荷载作用而产生微破裂释放出弹性波的信号,再通过对信号的分析定位来评价结构的安全性,并可实现对微震(微破裂)事件的全天候实时监测。该系统突破了传统监测方法只针对尾矿库某些安全技术指标的监测,如:坝体位移、浸润线、库水位、干滩长度监测等,通过系统优化布局,实现对设计监测范围内的尾矿库坝破坏(裂)过程在空间概念上的时间过程监测,并且可以监测到常规方法不可到达的位置。由于该系统使用了多传感器,即可在不同位置对同一微震(微破裂)信息进行有效采集和处理,实现对微震事件的高精度空间定位(即反映出微震事件发生的具体空间位置)。这种空间定位功能可为尾矿库坝的灾害防治指明方向。微震监测采用全数字化技术,克服了模拟信号系统的缺点,对数据的采集、存储和处理更加方便,使得计算机监控成为可能。系统的高速采样以及 P 波和 S 波的全波形显示,使得对微震信号的频谱分析和事件的判别直观方便<sup>[21]</sup>。微震监测技术基于数字技术和光纤通讯技术的远程监测和信息远传输,使得监测的劳动强度大大降低,同时可以避免监测人员直接进入危险监测区域,改善了监测人员的监测环境。由于与终端监控计算机实现了数据的实时传输,可以使用对监测数据进行空间定位分析的三维软件,借助于可视化编程技术,实现对实时监测数据的可视化三维显示,并利用网络技术(局域网)实现多用户可视化监测,为多专家实时、远程分析与评价创造了条件。

### 3.3 多通道微震监测系统的技术理论难题

(1) 目前,多通道微震监测系统多应用于岩土工程和地下工程的安全监测,微震(微破裂)释放出的弹性波在以岩体为主的介质中传播,对传感器接收信号影响不大,但在尾矿坝的监测中,弹性波传播的媒

介主要为尾砂堆坝(松散体),因此使弹性波在传播过程中衰减速度加快,传感器得到的信号难以真实反映尾矿库坝的破坏情况。国内外现阶段对于弹性波在尾砂堆坝(松散体)中传播特性的研究非常罕见,可以借鉴的技术非常少。因此,如何运用技术手段解决这一理论难题,使得该系统可以正确地分析尾矿库坝破坏情况,精确地对破坏进行空间定位,还有待于进一步的研究和探讨。

(2) 正是由于弹性波在尾砂堆坝(松散体)中的传播特点,采用何种频段的设备来采集信号成为该系统运用的一大难题。所以,需要以大量的实验为依据,选择适合运用于尾矿坝监测中的设备。

(3) 现阶段国内对于尾矿坝的溃坝机理的研究还不够全面,正如前文所言,尾矿库的许多安全指标是在借鉴了土石坝规范的基础上而提出的,并且每个尾矿坝都有各自的特点,不同类型和不同规模的尾矿库在各种地形条件下发生溃坝的规律还没有科学的依据可循。因此,系统的建立还需要大量收集分析国内外溃坝事故的案例,通过理论分析和实验,从尾矿坝溃坝机理出发,为多通道微震系统设定科学合理的监测目标。

#### 4 结语

尾矿库工程不同于一般建设工程,最突出特点是它的运行期是一个漫长的筑坝施工过程,通常在几年到几十年之间,并且所涉及的知识面非常广泛,包括采矿、选矿、机械、土力学、水力学等。由于尾矿坝及其构筑物所处的自然环境比较恶劣,所以需要全面管理、实时观测、及时维护,以保证其安全稳定性。我国尾矿库正常运行的比例偏低,灾害不断,时有重特大事故发生,多数是因为失察、失修、施工不当,导致尾矿库的安全性存在巨大的隐患,同时也反映了我国尾矿库安全监测的力度和方法存在着一定的漏洞和局限性。因此,如何使多通道微震系统更加适合运用于尾矿库工程中,为尾矿库的安全提供实时、全面的监测,将是岩土工程中具有重大意义的研究方向。

#### 参考文献:

- [1] 曾群伟,谢殿荣,苏举端,等.尾矿库溃坝的安全监测[J].工业安全与环保,2010,36(1):44-46.
- ZENG Qunwei, XIE Dianrong, SU Juduan, et al. Risk analysis of dam failing of the tailings reservoir [J].
- Industrial Safety and Environmental Protection, 2010, 36 (1): 44-46.
- [2] 杨春,张超.尾矿库安全评价与病患治理[M].湖北:湖北长江出版集团,湖北人民出版社,2006:9-12, 227-239.
- YANG Chun, ZHANG Chao. Safety evaluation and disease management of tailing pond [M]. Hubei: Hubei Changjiang Press Group, Hubei People's Publishing House, 2006: 9-12, 227-239.
- [3] 袁永强.我国尾矿库安全现状分析及建议[J].有色冶金设计与研究,2010,31(1):32-53.
- YUAN Yongqiang. Analysis and suggestions on current safety status of domestic tailings ponds [J]. Nonferrous Metals Engineering & Research, 2010, 31(1): 32-53.
- [4] 谢旭阳,田文旗,王云海,等.我国尾矿库安全现状分析及管理对策研究[J].中国安全生产科学技术,2009,5(2):5-9.
- XIE Xuyang, TIAN Wenqi, WANG Yunhai, et al. The safety analysis of current situation and management counter measure on tailing reservoir in China [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2009, 5(2): 5-9.
- [5] 杜通,浑宝炬,张大伟,等.尾矿库的危害和安全管理措施[J].河北理工大学学报(自然科学版),2009,31(2):9-11.
- DU Tong, YUN Baoju, ZHANG Dawei, et al. Discusses the harms and measures on safety management of tailings pond [J]. Journal of Hebei Polytechnic University (Natural Science Edition), 2009, 31(2): 9-11.
- [6] 门永生,柴建设.我国尾矿库安全现状及事故防治措施[J].中国安全生产科学技术,2009,5(1):48-52.
- MEN Yongsheng, CHAI Jianshe. The current safety situation of tailing reservoir in china and preventive measure [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2009, 5(1): 48-52.
- [7] 蒋卫东,李夕兵,张虹.国外尾矿坝安全与环境研究综述[J].中国钨业,2003,18(3):40-43.
- JIANG Weidong, LI Xibing, ZHANG Hong. Review of safety and environment of tailings dam abroad [J]. China Tungsten Industry, 2003, 18(3): 40-43.
- [8] 魏勇,许开立,郑欣.浅析国内外尾矿坝事故及原因[J].金属矿山,2009(7):139-142.
- WEI Yong, XU Kaili, ZHENG Xin. Discussion on the causes for tailings dam accidents at home and abroad [J]. Metal Mine, 2009(7): 139-142.
- [9] 范恩让,史剑鹏.几个尾矿坝垮塌事故的案例分析与教训[J].资源环境与工程,2007,21(3):290-292.

- FAN Enrang, SHI Jianpeng. A case study on collapse of some tailings dams [J]. Resources Environment & Engineering 2007, 21(3):290-292.
- [10] 魏红格,邢璐,许亮.尾矿库安全检测监控预警系统的研究[J].福建电脑,2010(4):99-100.
- WEI Hongge, XING Lu, XU Liang. Research of safety and early warning monitoring system of tailing reservoir [J]. Fujian Computer 2010(4):99-100.
- [11] 侯群. GPRS 技术在尾矿库远程监测系统中的应用[J].现代电子技术,2010(5):193-196.
- HOU Qun. Remote monitoring system of mine tailings dam based on GPRS [J]. Modern Electronics Technique, 2010(5):193-196.
- [12] 王昌,王云海,李全明,等.矿山尾矿库坝光纤在线监测技术[J].山东科学,2008,21(6):4-8.
- WANG Chang, WANG Yunhai, LI Quanming, et al. Research on an online mine tailings dam optical fiber surveillance technology [J]. Shandong Science, 2008, 21(6):4-8.
- [13] 李小军,杨小聪,谭卓英. GPS 在尾矿库变形监测中的应用[A].中国有色金属学会采矿学术委员会.2010中国矿山安全管理与技术装备大会论文集[C].大连:中国有色金属学会采矿学术委员会,2010:79-80.
- LI Xiaojun, YANG Xiaocong, TAN Zhuoying. Deformation monitoring of mine tailings dam based on GPRS [A]. The Mining Academic Committee of The Nonferrous Metals Society of China, Conference Proceedings for Safety Management and Technical Equipment of Mine in China in 2010 [C]. Dalian: The Mining Academic Committee of The Nonferrous Metals Society of China, 2010:79-80.
- [14] 刘紫曜,李建雄.浅析在我国大型尾矿库建立动态监测系统的可行性[A].中国有色金属学会采矿学术委员会,2010中国矿山安全管理与技术装备大会论文集[C].大连:中国有色金属学会采矿学术委员会,2010:66-70.
- LIU Ziyao, LI Jianxiong. Discussion on the feasibility of establishing dynamic monitoring system in large tailing pond in China [A]. The Mining Academic Committee of The Nonferrous Metals Society of China. Conference Proceedings for Safety Management and Technical Equipment of Mine in China in 2010 [C]. Dalian: The Mining Academic Committee of The Nonferrous Metals Society of China, 2010:66-70.
- [15] 洪振川.尾矿库安全监测预警系统在南山矿尾矿库的应用[J].现代矿业,2010(6):129-138.
- HONG Zhengchuan. Application of safety and early warning monitoring system of tailing reservoir in nanshan mine [J]. Metal Mine, 2010(6):129-138.
- [16] 苏军,袁子清,李小军,等.尾矿库安全在线监测技术探讨[A].中国有色金属学会采矿学术委员会,2010中国矿山安全管理与技术装备大会论文集[C].大连:中国有色金属学会采矿学术委员会,2010:76-78.
- SU Jun, YUAN Ziqing, LI Xiaojun, et al. Discussion on the safety online monitoring technology of tailing reservoir [A]. The Mining Academic Committee of The Nonferrous Metals Society of China. Conference Proceedings for Safety Management and Technical Equipment of Mine in China in 2010 [C]. Dalian: The Mining Academic Committee of The Nonferrous Metals Society of China, 2010:76-78.
- [17] 章立才,李雪平.尾矿库安全在线全数字自动安全监测监控系统在西朝钼矿的应用[A].中国有色金属学会采矿学术委员会.2010中国矿山安全管理与技术装备大会论文集[C].大连:中国有色金属学会采矿学术委员会,2010:83-85.
- ZHANG Licai, LI Xueping. Application of automatic online safety monitoring system of tailing reservoir digitalization in xichao molybdenum mine [A]. The Mining Academic Committee of The Nonferrous Metals Society of China. Conference Proceedings for Safety Management and Technical Equipment of Mine in China in 2010 [C]. Dalian: The Mining Academic Committee of The Nonferrous Metals Society of China, 2010:83-85.
- [18] 杨忠林.尾矿库数字化在线监测系统在尖山铁矿的应用[J].金属矿山,2010(1):125-127.
- YANG Zhonglin. Application of online monitoring system of tailing reservoir digitalization in jianshan iron mine [J]. Metal Mine, 2010(1):125-127.
- [19] 祝玉学,戚国庆,鲁兆明,等.尾矿库工程分析与管理[M].北京:冶金工业出版社,1999:56-65.
- ZHU Yuxue, QI Guoqing, LU Zhaoming, et al. Analysis and management of tailing pond projects [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1999:56-65.
- [20] 李庶林.试论微震监测技术在地下工程中的应用[J].地下空间与工程学报,2009,5(1):122-128.
- LI Shulin. Discussion on microseismic monitoring technology and its applications to underground projects [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2009, 5(1):122-128.
- [21] 袁节平.试论柿竹园多通道微震监测技术研究的必要性[J].采矿技术,2009,9(1):66-69.
- YUAN Jie-ping. Discussion on the necessity for research

- of multi-channel micro-seismic monitoring technology [J]. Mining Technology 2009 9(1):66-69.
- [22] 李庶林,尹贤刚,郑文达,等. 凡口铅锌矿多通道微震监测系统及其应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(12):2048-2053.
- LI Shulin, YIN Xiangang, ZHENG Wenda, et al. Research of multi-channel microseismic monitoring system and its application to fankou lead-zinc mine [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2005 24(12):2048-2053.
- [23] 尹贤刚,李庶林,黄沛生,等. 微震监测系统在矿山安全管理中的应用研究[J]. 矿业研究与开发, 2006, 26(1):65-68.
- YIN Xiangang, LI Shulin, HUANG Peisheng, et al. Application of micro-seismic monitoring system in mine safety management [J]. Mining R & D 2006 26(1):65-68.
- [24] 田文旗. 我国尾矿库现状及安全对策的建议[A]. 中国有色金属学会采矿学术委员会. 2010 中国矿山安全管理与技术装备大会论文集[C]. 大连:中国有色金属学会采矿学术委员会 2010:59-65.
- TIAN Wenqi. The Suggestions of safety measure on current situation of tailing reservoir in China [A]. The Mining Academic Committee of The Nonferrous Metals Society of China. Conference Proceedings for Safety Management and Technical Equipment of Mine in China in 2010 [C]. Dalian: The Mining Academic Committee of The Nonferrous Metals Society of China 2010:59-65.

## Discussion on the situation and prospect of safeguard for tailing pond

LI Qing-shi<sup>1</sup>, LI Shu-lin<sup>1</sup>, Chen Ji-jing<sup>2</sup>

(1. Architectural and Civil Engineering School of Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China;

2. Hunan Shizhuyuan Nonferrous Metal CO., LTD, Chenzhou Hunan 423037, China)

**Abstract:** As an important part of productive mine, tailing pond is also a great hazard and pollution sources. Recently, there are many accidents of tailing pond at home and abroad. It took a huge number of losses to the economy, the environment, as well as the safety and property of people. The safety of tailing pond has become one of the important long-standing research works in disaster prevention and mitigation of geotechnical engineering. It was discussed about the situation and hazardness of tailing pond, listed and analysed some disasters of dam break in tailing pond both at home and abroad, also illustrated the principles, effectiveness and limitations of some common safety monitoring methods in tailing pond in China. The necessity and characteristic of real-time monitoring technology are indicated in this paper. The theoretical and technical problems to be researched for real-time monitoring technology are outlined with its application prospect appraised.

**Key words:** tailing pond; safeguard; microseismic monitoring technology